

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Pengertian Perawatan Mesin

Menurut Vincent Gasper (1994, hal 513) , perawatan (maintenance) merupakan suatu kegiatan yang mengarahkan pada tujuan untuk menjamin fungsi dari suatu sistem produksi sehingga dari sistem itu dapat diharapkan menghasilkan *output* sesuai dengan yang dikehendaki. Sistem perawatan dapat dipandang sebagai bayangan dari sistem produksi, dimana apabila sistem produksi beroperasi dengan kapasitas yang sangat tinggi maka akan lebih intensif.

Menurut (kurniawan, 2013) kegiatan perawatan dapat diklasifikasikan menjadi terencana (*planned*) dan tidak terencana (*unplanned maintenance*). Pada dasarnya terdapat dua prinsip utama dalam sistem pemeliharaan, yaitu:

- Menekan jangka waktu mesin rusak (*break down period*) hingga batas minimal dengan mempertimbangkan aspek ekonomis.
- Mencegah terjadinya kerusakan yang tidak terencana.

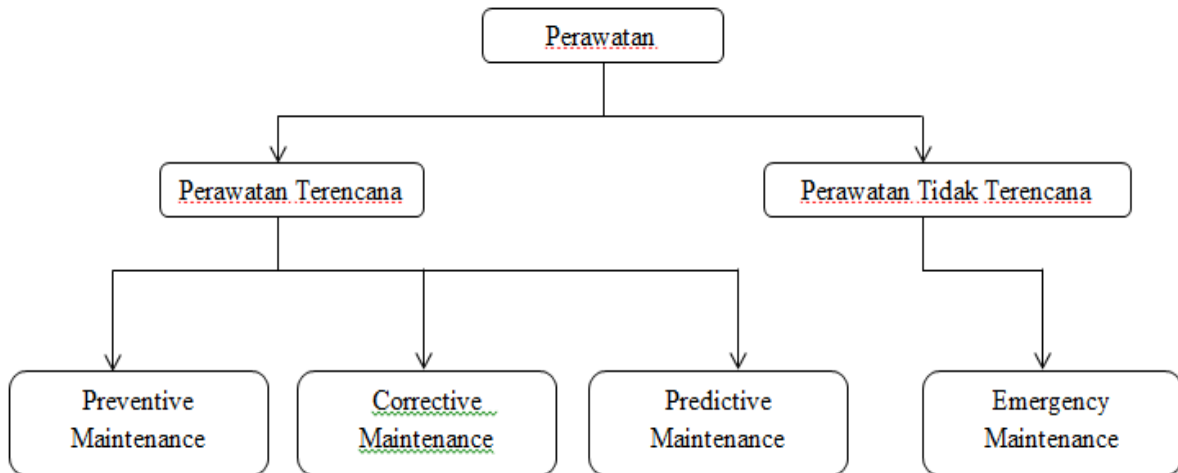
Manajemen perawatan adalah pendekantan formal dalam melaksanakan fungsi manajemen pemeliharaan yang berkaitan dengan pemanfaatan sumberdaya yang ada untuk ketersediaan mesin dan peralatan setiap saat berdasarkan karakteristik kemampuan dan kehandalan pemeliharaan.

Manajemen pemeliharaan menghasilkan banyak keuntungan melalui:

- Kesiapan mesin saat dibutuhkan untuk proses produksi, menghasilkan hasil produksi yang tinggi dengan biaya yang rendah.
- Produktivitas tenaga kerja pada saat produksi meningkat.
- Dapat menurunkan biaya perbaikan.
- Menurunkan kerja lembur.

2.2. Ruang lingkup perawatan

Pada gambar 2.1 menunjukkan gambaran hubungan antar berbagai macam jenis perawatan dan ruang lingkup dari masing – masing bentuk pemeliharaan



tersebut:

Gambar 2.1 Diagram perawatan (*maintenance*)

Berdasarkan gambar 2.1 sistem perawatan yang direncanakan terdapat tiga kegiatan pokok dalam perawatan terencana, yaitu:

1. Perawatan Pencegahan (*Preventive*)

Pemeliharaan ini bertujuan untuk menjaga kondisi dari peralatan tersebut sebelum peralatan tersebut mengalami kerusakan. Salah satu tujuan utama dari *preventive maintenance* adalah untuk menguraingi tingkat kegagalan atau frekuensi kegagalan peralatan. Strategi ini berkontribusi untuk meminimalisir biaya kegagalan dan *downtime* mesin serta meningkatkan kualitas produksi (Usher dkk, 1998). Dengan demikian semua fasilitas – fasilitas produksi yang mendapatkan pemeliharaan preventif akan terjamin kelancaran kerjanya dan

selalu diusahakan dalam kondisi yang siap digunakan untuk setiap proses produksi setiap saat. Hal ini memerlukan suatu rencana dan jadwal pemeliharaan yang sangat cermat dan rencana yang lebih tepat.

Dalam kebijakan perawatan preventif, masa perawatan atau penggantian komponen dilakukan ketika unit tersebut belum mengalami kerusakan. Kebijakan tersebut berlandaskan pendekan analisis data saintifik. Dalam praktiknya mayoritas membutuhkan seseorang yang ahli dan berpengalaman serta rekomendasi dari produsen peralatan ahli tersebut (Labib, 2004; Tam, Chan, & Price, 2006).

Preventive maintenance sangat berguna karena fungsinya yang sangat efektif dalam fasilitas – fasilitas produksi yang tergolong dalam “*critical unit*” sedangkan ciri – ciri dari fasilitas produksi yang tergolong dalam *critical unit* ialah:

- Membahayakan keselamatan dan kesehatan para pekerja
- Mempengaruhi kualitas output yang dihasilkan
- Menyebabkan *delay* pada seluruh proses produksi
- Harga dari unit tersebut relative mahal

Pada praktiknya *Preventive maintenance* yang diterapkan pada sebuah perusahaan dapat dibedakan lagi sebagai berikut:

- a. Perawatan rutin, artinya kegiatan perawatan yang dilaksanakan secara rutin (setiap hari), contohnya pembersihan peralatan, pengecekan isi bahan bakar, dan lain sebagainya.
- b. Perawatan periodik, adalah kegiatan perawatan yang dilaksanakan secara periodik atau dalam jangka waktu yang ditentukan, contohnya mesin akan diperiksa setiap 100 jam kerja mesin, kemudian meningkat setiap 500 jam sekali, dan seterusnya.

Preventive maintenance akan sangat menguntungkan atau tidak tergantung pada:

- a. Distribusi dari kerusakan pada penjadwalan dan pelaksanaan pemeliharaan preventif harus memperlihatkan jenis distribusi dari kerusakan yang ada,

karena dengan mengetahui jenis distribusi dari kerusakan yang ada, karena dengan mengetahui jenis distribusi kerusakan dapat disusun suatu rencana pemeliharaan yang benar – benar tepat sesuai dengan latar belakang mesin tersebut.

- b. Hubungan antara waktu pemeliharaan *preventive maintenance* terhadap waktu, perbaikan, hendaknya diantara kedua waktu ini diadakan keseimbangan dan diusahakan dapat dicapai titik maksimal. Jika ternyata jumlah waktu untuk *preventive maintenance* lebih lama dari waktu menyelesaikan kerusakan tiba – tiba, maka tidak ada manfaatnya yang nyata untuk mengadakan *preventive maintenance*, lebih baik ditunggu saja sampai terjadi kerusakan.

2. Perawatan korektif (*Corrective Maintenance*)

Perawatan ini dimaksudkan untuk memperbaiki pemeliharaan yang rusak. Pada dasarnya aktivitas yang dilakukan adalah perawatan yang dilakukan setelah terjadinya suatu kerusakan atau kelainan pada fasilitas atau peralatan. Kegiatan ini sering disebut sebagai kegiatan perbaikan atau reparasi.

Perawatan korektif dapat juga didefinisikan sebagai perbaikan yang dilakukan karena adanya kerusakan yang dapat terjadi akibat tidak dilakukannya *preventive maintenance* maupun telah dilakukan namun sampai pada suatu waktu tertentu fasilitas dan peralatan tersebut tetap rusak. Jadi dalam hal ini, kegiatan pemeliharaan sifatnya hanya menunggu sampai terjadi kerusakan, baru kemudian diperbaiki atau dibetulkan.

3. Perawatan Prediktif (*Predictive Maintenance*)

Tipe perawatan ini lebih maju dibandingkan dengan dua tipe sebelumnya. Ditandai dengan menggunakan teknik – teknik mutakhir (*advance scientific techniques*) termasuk statistik probabilitas untuk memaksimalkan waktu operasi dan menghilangkan pekerjaan – pekerjaan yang tidak perlu. *Predictive Maintenance* juga menggunakan bantuan sensor mekanik/elektronik untuk mendeteksi secara dini jika terjadi penyimpangan/masalah pada sistem. *Predictive maintenance* dipakai hanya pada sistem – sistem yang akan menimbulkan

masalah – masalah serius jika terjadi kerusakan pada mesin atau pada proses – proses yang berbahaya.

2.3. Perkembangan *Maintenance*

Teknik manajemen pemeliharaan telah melalui proses perkembangan yang luar biasa selama beberapa tahun terakhir. Saat ini, perkembangan *maintenance* mereka telah dipicu oleh peningkatan ketidak lancaran dalam proses manufaktur dan berbagai produk, kesadaran yang semakin besar akan dampak pemeliharaan terhadap lingkungan dan keselamatan personel, profitabilitas bisnis dan kualitas produk. Ada perubahan paradigma dalam menerapkan strategi pemeliharaan seperti pemeliharaan berbasis kondisi (*Condition Based Maintenance*) dan pemeliharaan yang berpusat pada keandalan (RCM). Kemudian pemeliharaan berbasis risiko (*Risk Based Maintenance*) juga telah di terapkan. Perkembangan *maintenance* dari waktu ke waktu dapat dikategorikan menjadi 4 kategori, antara lain.

2.3.1 Generasi Pertama

Generasi pertama berlaku sebelum perang dunia kedua. Dimana industri masih tidak terlalu mekanis. Peralatan sederhana dan dirancang ulang yang membuatnya dapat diandalkan dan mudah untuk diperbaiki. Mesin dioperasikan sampai keadaan rusak dan tidak ada cara untuk memprediksi kegagalan. Perawatannya antara lain, yang pertama adalah pemeliharaan dasar dan rutin, kemudian perbaikan ketika rusak, dan pemeliharaan korektif.

2.3.2 Generasi Kedua

Generasi kedua berlaku pada periode perang dunia kedua dan akhir 1970 an. Industri menjadi lebih kompleks dengan ketergantungan besar pada mesin. Biaya perawatan menjadi lebih tinggi daripada biaya operasi relatif lainnya. Kebijakan pemeliharaan yang diadopsi adalah, pertama pemeliharaan preventif terencana, kedua pemeliharaan berbasis waktu, dan sistem untuk perencanaan dan pengendalian pekerjaan. Namun, generasi ini dikritik karena memaksakan

perawatan yang seringkali tidak perlu, yang mengganggu operasi normal, dan juga menyebabkan kegagalan fungsi karena operasi yang terlewat.

2.3.3 Generasi Ketiga

Generasi ketiga berlaku sejak tahun 1980 hingga 2000. Generasi ini umumnya ditandai oleh pertumbuhan kompleksitas pabrik yang terus menerus, kemudian percepatan penggunaan otomatisasi, kemudian sistem waktu produksi yang tepat, kemudian meningkatkan permintaan akan standar kualitas produk dan layanan, serta peraturan perundang undangan yang semakin ketat pada kualitas layanan. Pemeliharaan berbasis kondisi (CBM), pemeliharaan terpusat keandalan (RCM), dan manajemen pemeliharaan berbasis komputer pun diadopsi untuk pemeliharaan selama periode ini.

2.3.4 Generasi Terbaru

Pada tahun 1990-an, metodologi inspeksi dan pemeliharaan berbasis risiko mulai muncul dan mendapatkan popularitas setelah tahun 2000. Generasi ini ditandai dengan dimulainya inspeksi dan pemeliharaan berbasis risiko selain RCM dan CBM. Hingga tahun 2000, pemeliharaan dan keselamatan diperlakukan sebagai kegiatan yang terpisah dan independen. Beberapa penulis menyarankan bahwa pendekatan terpadu yang menggabungkan pemeliharaan dan keselamatan adalah cara yang tepat untuk mengoptimalkan kapasitas pabrik, karena keselamatan dan pemeliharaan bukan fungsi yang saling eksklusif. Tujuan keseluruhan dari proses pemeliharaan adalah untuk meningkatkan profitabilitas operasi dan mengoptimalkan biaya siklus hidup total tanpa mengurangi masalah keselamatan atau lingkungan. Perencanaan inspeksi dan pemeliharaan berdasarkan analisis risiko meminimalkan kemungkinan kegagalan sistem dan konsekuensinya. Ini membantu manajemen dalam membuat keputusan yang benar mengenai investasi dalam pemeliharaan dan bidang terkait.

2.4. Tujuan Perawatan

Menurut Vincent Gasper (1992, hal 81), secara umum perawatan memiliki tujuan – tujuan diantara lain:

1. Menjamin tercapainya kualitas produk dan kepuasan pelanggan melalui penyesuaian, pelayanan dan pengoperasian peralatan secara tepat.
2. Meningkatkan umur kegunaan dari sistem hingga tingkat yang maksimal.
3. Menjaga agar sistem aman dan mencegah berkembangnya gangguan keamanan.
4. Meminimalkan biaya produksi total yang secara langsung dapat dihubungkan dengan service dan perbaikan.
5. Meningkatkan produksi dari sumber – sumber sistem yang ada hingga tingkat yang maksimal.
6. Meminimalisir frekuensi dan kuatnya gangguan terhadap proses operasi.
7. Menyiapkan personel, fasilitas dan metodenya.
8. Agar mampu mengerjakan tugas – tugas pemeliharaan.

2.5. Konsep risiko terhadap maintenance

Salah satu tujuan utama dari strategi pemeliharaan yang baik adalah meminimalkan bahaya, baik bagi manusia maupun lingkungan, yang disebabkan oleh kegagalan peralatan yang tidak terduga. Selain itu strategi yang diterapkan harus hemat biaya. Menggunakan pendekatan berbasis risiko untuk memastikan strategi yang memenuhi tujuan ini. Pendekatan semacam ini menggunakan informasi yang diperoleh dari studi mode kegagalan dan konsekuensi ekonominya.

Analisa risiko adalah teknik untuk mengidentifikasi, mengkarakteriskan, dan mengevaluasi kerugian akibat peristiwa. Pendekatan analisis risiko mengintegrasikan analisis probabilitas dan konsekuensi pada berbagai tahap analisis dan upaya untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan berikut ini:

- Apa yang salah?
- Mengapa itu bisa terjadi?
- Apa penyebabnya?
- Apa akibatnya?

Dalam konteks ini, risiko dapat dibagi menjadi dua jenis yaitu kualitatif dan kuantitatif, rumusnya dapat dilihat pada persamaan 1

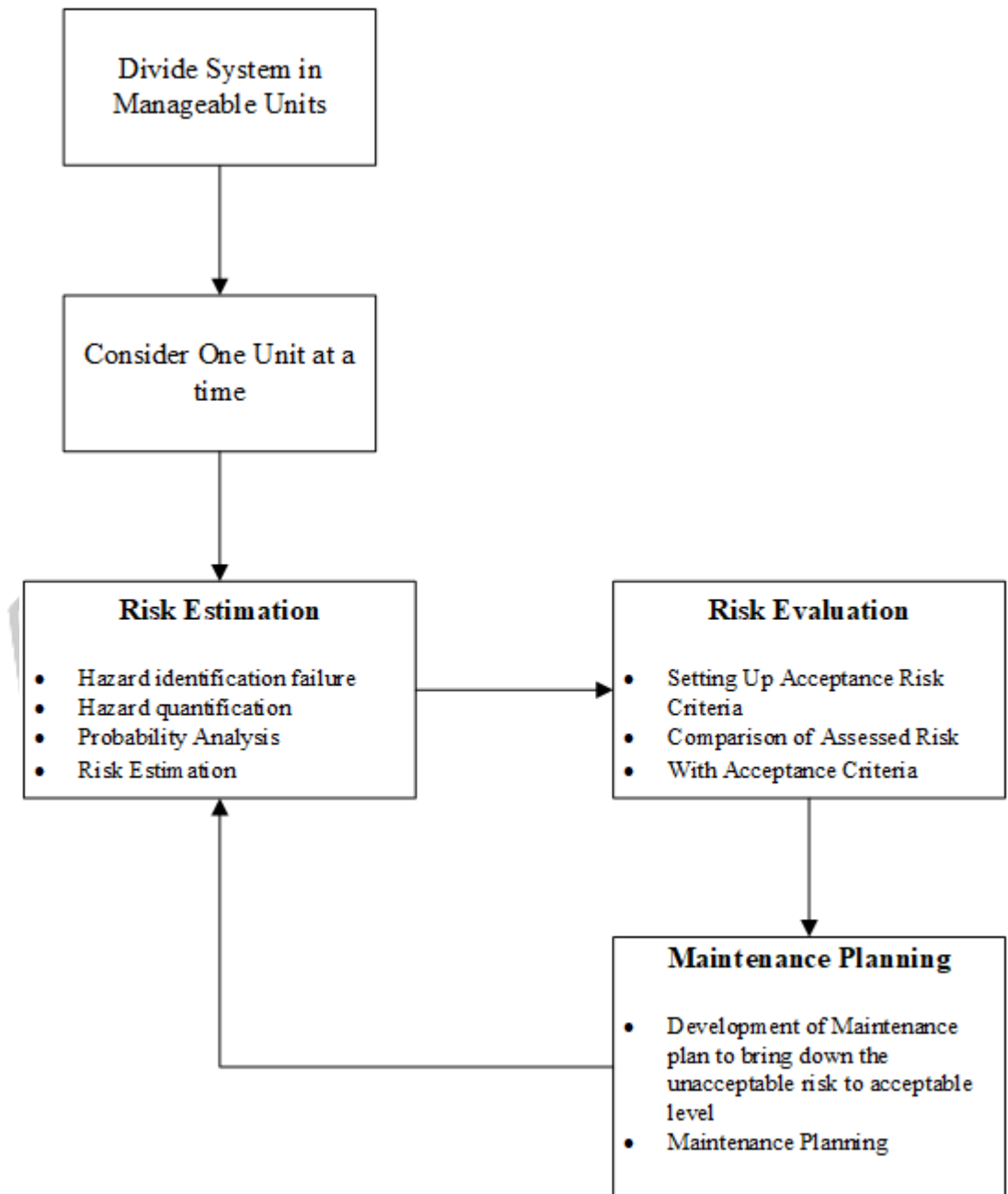
$$\text{risk} = \text{probability of risk} \times \text{consequence of risk} \quad (1)$$

2.6. Risk Based Maintenance (RBM)

RBM merupakan suatu pengukuran kuantitatif hasil integrasi antara pendekatan reliability dengan strategi pendekatan risiko; bertujuan untuk mengurangi risiko yang ditimbulkan akibat kerusakan yang terjadi pada suatu sistem. Nilai kuantitatif dari risiko merupakan dasar untuk memprioritaskan kegiatan maintenance dan inspeksi (F.I. Khan, M. Haddara; 2003).

Risk Based Maintenance (RBM) digunakan sebagai strategi dalam memprioritaskan setiap aset berdasarkan tingkat resiko dimana aset yang memiliki tingkat resiko tertinggi pada saat mengalami kegagalan merupakan prioritas utama dalam melakukan perawatan dan perbaikan. Tujuan utama dari metode ini ialah untuk mengurangi total resiko yang ditanggung oleh perusahaan baik itu dalam segi permesinan maupun segi ekonomi.

Menurut F. I. Khan dan M. M. Haddara (2003) *Risk Based Maintenance* (RBM) dibagi menjadi 3 modul utama yang dapat dilihat pada gambar 2.1



Gambar 2.1 skema metodologi RBM

2.7. Risk Estimation

Modul ini terdiri dari empat langkah, yang terhubung secara logis. Deskripsi terperinci dari setiap langkah disajikan di bawah ini.

2.7.1. Pengembangan skenario kegagalan

Skenario kegagalan adalah deskripsi serangkaian acara yang dapat menyebabkan kegagalan sistem. Hal ini dapat berisi satu peristiwa atau kombinasi peristiwa berurutan. Biasanya, kegagalan sistem terjadi sebagai akibat dari urutan interaksi peristiwa. Ekspektasi dari suatu skenario tidak berarti skenario itu memang akan terjadi, tetapi ada kemungkinan yang masuk akal bahwa itu akan terjadi. Skenario kegagalan adalah dasar dari studi risiko hal itu dapat memberi tahu kita apa yang mungkin terjadi. sehingga kita dapat menemukan cara dan sarana untuk mencegah atau meminimalkan kemungkinan terjadinya. Skenario semacam itu dihasilkan berdasarkan karakteristik operasional sistem; kondisi fisik di mana operasi terjadi.

2.7.2. Penilaian konsekuensi

Tujuan dari hal ini adalah memprioritaskan peralatan dan komponennya berdasarkan kontribusi mereka terhadap kegagalan sistem. Misalnya, dalam kasus tekanan yang terkandung, kebocoran lubang jarum pada jalur proses mungkin tidak menyebabkan hilangnya total produksi. Ini berbeda dengan kegagalan katup pipa yang dapat menyebabkan penutupan saluran.

Analisis konsekuensi melibatkan penilaian konsekuensi yang mungkin terjadi jika skenario kegagalan terwujud. Pada awalnya, konsekuensinya dikuantifikasi dalam hal radius kerusakan (radius area di mana kerusakan akan terjadi), kerusakan properti (penghancuran kaca jendela, caving bangunan) dan efek toksik (toksisitas kronis / akut, mortalitas). Radius kerusakan yang dihitung kemudian digunakan untuk menilai efek pada kesehatan manusia, dan kerugian lingkungan dan produksi.

2.7.3. Analisis kegagalan probabilistic

Analisis kegagalan probabilistik dilakukan dengan menggunakan *Fault Tree Analysis* (FTA). Penggunaan FTA dengan data kegagalan komponen dan data keandalan manusia, memungkinkan untuk menentukan frekuensi kemunculan kecelakaan. Mengembangkan probabilistic FTA menjadi lebih mudah

menggunakan metodologi yang disebut "simulasi analitis" (F. I. Khan & S. A. Abbasi, 2000). Fitur utama dari langkah ini adalah:

1. *Fault Tree Development*: kejadian utama diidentifikasi berdasarkan studi rinci tentang proses, pengaturan kontrol, dan perilaku komponen unit / pabrik. Ketergantungan logis antara penyebab yang mengarah ke kejadian utama (kegagalan) dikembangkan.
2. *Boolean Matrix creation*: FTA yang telah dikembangkan ditransformasikan ke matriks Boolean. Jika dimensi matriks Boolean terlalu besar untuk ditangani oleh komputer yang tersedia, teknik modulasi struktural dapat diterapkan (Shafagi, 1988). Teknik ini mengusulkan modulasi pohon kesalahan ke dalam sejumlah sub modul yang lebih kecil dengan hubungan ketergantungan di antara mereka. Teknik ini mengusulkan modulasi pohon kesalahan ke dalam sejumlah sub modul yang lebih kecil dengan hubungan ketergantungan di antara mereka.
3. *Finding of minimum cutsets and optimization*: *Minimum cutsets* ditentukan dari Boolean (Greenberg & Slater, 1992). Jika masalah telah termodulasi secara struktural, maka setiap modul diselesaikan secara independen, dan hasilnya digabungkan. Potongan minimum kemudian dioptimalkan menggunakan teknik yang sesuai. Optimasi diperlukan untuk menghilangkan jalur yang tidak penting (potongan).
4. Analisis probabilitas: minimum cutset yang dioptimalkan akan digunakan untuk memperkirakan probabilitas. Para penulis saat ini merekomendasikan penggunaan metode simulasi Monte-Carlo (Rauzy, 1993; Soon, Joo, & Myung, 1985) untuk tujuan ini. Metode simulasi tidak hanya memberikan probabilitas acara puncak tetapi mereka juga memberikan informasi tentang sensitivitas hasil. Selain itu, simulasi sangat membantu dalam mempelajari dampak dari masing-masing peristiwa awal.
5. *Improvement index estimation*: Indeks peningkatan memberikan ukuran dampak dari masing-masing akar penyebab pada peristiwa kegagalan akhir.

Indeks peningkatan memberikan ukuran dampak dari masing-masing akar penyebab pada peristiwa kegagalan akhir. Peningkatan diperkirakan menggunakan hasil simulasi. Untuk memperkirakan dampak dari penyebab utama, simulasi dilakukan dua kali yaitu dengan dan tanpa penyebab. "*Improvement Index*" kemudian diperoleh sebagai ukuran dari perubahan dalam kemungkinan terjadinya kejadian akhir.

2.7.4. Estimasi Risiko

Hasil dari konsekuensi dan analisis kegagalan probabilistik kemudian digunakan untuk memperkirakan risiko yang mungkin dihasilkan dari kegagalan masing-masing unit.

2.8. Evaluasi Risiko

Tujuan modul ini adalah untuk mengevaluasi risiko yang diperkirakan dengan menggunakan metodologi yang dijelaskan di atas. Algoritma evaluasi ini terdiri dari dua langkah yaitu mempersiapkan kriteria dan membandingkan risiko dengan kriteria penerimaan.

2.9. Maintenance Planning

Unit yang tingkat estimasi risikonya melebihi kriteria penerimaan dipelajari secara terperinci dengan tujuan mengurangi tingkat risiko melalui rencana pemeliharaan yang lebih baik.

2.10. Risk Matrix

Risk Matrix merupakan pendekatan struktural untuk mengidentifikasi risiko yang paling berpengaruh terhadap sistem serta menyediakan metodologi untuk menilai dampak potensial dari risiko, sepanjang sistem digunakan.

Menurut Garvey, P. R., & Lansdowne, Z. F. (1998) pada risk matrix, risiko mengacu kepada kemungkinan kebutuhan sistem tersebut tidak dapat dipenuhi oleh teknologi yang tersedia atau dengan prosedur atau proses teknis yang sesuai. pendekatan ini berfokus pada pasangan persyaratan-teknologi sebagai dasar untuk mengidentifikasi apakah ada risiko pada sistem tersebut. matriks risiko biasanya dilengkapi oleh manajemen risiko di lingkungan *workshop*. Partisipan umumnya

merupakan operator mesin yang paham dan terbiasa dengan kerusakan mesin tersebut. Hasilnya kemudian dimasukkan ke dalam aplikasi matriks risiko, atau direkam di atas kertas pada kolom yang sesuai. Untuk parameter yang digunakan pada *risk matrix* adalah impact dan probability of (occurrence Garvey, P. R., & Lansdowne, Z. F. 1998).

Tabel 2.1 Parameter Impact *risk matrix*

Impact Category	Definiton
<i>Catastrophic</i>	Kegagalan mengakibatkan kegagalan sistem dan mempengaruhi penjadwalan operasi
<i>Major</i>	Kejadian yang mempengaruhi penjadwalan operasi
<i>Moderate</i>	Kejadian cukup mempengaruhi penjadwalan operasi
<i>Minor</i>	Kejadian tidak terlalu mempengaruhi penjadwalan operasi
<i>Insignificant</i>	Kegagalan tidak mempengaruhi penjadwalan operasi

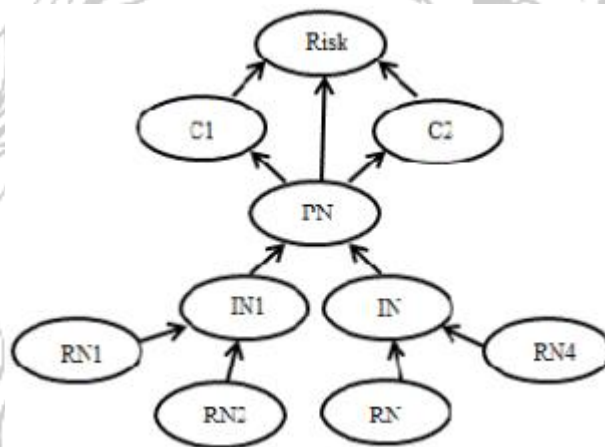
Tabel 2.2 Parameter *Probability of Occurrence Risk Matrix*

Probability range	Intrepretation
0-10%	Sangat jarang terjadi
11-40%	Jarang terjadi
41-60%	Mungkin akan terjadi
61-90%	Akan terjadi
91-100%	Sangat mungkit terjadi

2.11. Bayesian Network

Bayesian Network merupakan struktur grafis untuk merepresentasikan hubungan probabilitas antar bilangan besar dari variabel acak dan melakukan probabilitas antar muka dengan variabel tersebut (F. Kahn, J. Bhandari, dll, 2015; F. Khan, M. Abimbola, dll, 2015). Model *Bayesian Network* menghubungkan penyebab (*independent variable*) dan konsekuensi (*dependent variable*) sebagai

simpul melalui panah yang menghubungkan panah dari penyebab menuju konsekuensi (C. T. Yeo, J. Bhandari, dll 2016; S. Jain, F. Ayello, dll, 2013). Setiap simpul menggambarkan variabel tidak menentu dan menunjukkan hubungan antar dua variabel. Hal ini memberikan estimasi dari kemungkinan dari kejadian kegagalan yang jarang terjadi dari sistem yang kompleks dengan cara yang efisien. Struktur dari model *Bayesian Network* dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Struktur model *Bayesian Network*

Pada gambar 2.2, RN melambangkan *Root Nodes* atau kejadian primer (*primary events*), IN melambangkan *Intermediate Nodes* dan PN melambangkan *Pivot Nodes* atau puncak kejadian (*top events*). C melambangkan sebagai konsekuensi dimana terhubung ke risiko sebagai hasil akhir.

Pada *Bayesian Network*, “hasil probabilitas dari suatu peristiwa tergantung pada bukti yang diamati.” *Bayesian Network* tidak hanya menerapkan analisa prediksi, tetapi juga dapat melakukan analisa diagnostik. Dengan mempertimbangkan kondisi saling ketergantungan dan aturan rantai, *Bayesian*

Network menggambarkan distribusi bersama (*joint distribution*) dari variabel $U = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$, dimana dapat digambarkan dengan persamaan (2).

$$P(U) = \prod_{i=1}^n P(A_i | Pa(A_i)) \quad (2)$$

Dimana $P(U)$ menggambarkan distribusi *joint probability* dari variabel acak yang terlibat dan $Pa(A_i)$ merupakan *parent set* dari A_i . Pada *Bayesian Network*, persamaan (2) dapat digunakan untuk memperbarui probabilitas kejadian sebelumnya ketika diberi informasi baru yang disebut *evidence* (E). Distribusi probabilitas posterior dari variabel tertentu dapat dihitung menggunakan berbagai golongan dari hasil algoritma, seperti *junction tree* atau eliminasi variabel, lebih jelas ditunjukkan pada persamaan (3)

$$P(U|E) = \frac{P(U,E)}{P(E)} = \frac{P(U,E)}{\sum_U P(U,E)} \quad (3)$$

2.12. Penelitian terdahulu

Berikut merupakan kumpulan jurnal – jurnal yang melakukan penelitian yang memiliki keterkaitan dengan skripsi serta membantu menunjang penelitian ini

Judul	Peneliti	Tujuan	Parameter	Output
Risk-based Maintenance and Remaining Life Assessment for Gas Turbines	Mohamed Khalifah, Faishal Khan, Joseph Thorp (2015)	mengembangkan model yang berbeda untuk keputusan berbasis risiko mengenai pemilihan strategi pemeliharaan pada mesin turbin gas yang menua dalam pipa.	biaya perbaikan, jumlah biaya perbaikan, biaya operasi, risiko kegagalan, dan nilai sisa umur.	Perhitungan total risiko berdasarkan data rekap kegagalan mesin tanpa melihat alasan fisik dari kegagalan tersebut
Risk-based Maintenance Model For Offshore Oil and Gas Pipelines	Prasanta Kumar Dey, Stephen O. Ogunlana, Sittichai Naksuksakul (2004)	mengidentifikasi risiko baik internal maupun eksternal, menganalisis kegagalan berdasarkan dari risiko, dan usulan pedoman untuk inspeksi dan pemeliharaan yang efektif terhadap pipa minyak dan gas.	hirarki analitik proses (AHP). Pengambilan keputusan beberapa kriteria teknik.	Usulan untuk menganalisis kesehatan pipa dan pemeliharaan khusus pada komponen tertentu sesuai dengan probabilitas dan tingkat kegagalan
Risk-based Maintenance of Ethylene Oxide	Faishal Khan, Mahmoud R. Haddara (2004)	mengintegrasikan pendekatan keandalan dan penilaian risiko untuk mendapatkan	Interval perawatan	rencana pemeliharaan berbasis risiko yang optimal, meminimasi biaya, dan

Production facilities		jadwal perawatan yang optimal.		meminimasi konsekuensi yang terkait dalam keselamatan, ekonomi, dan lingkungan pada kegagalan sistem
Dynamic Risk-based Maintenance for Offshore processing facility	Jyoti Bhandari, Ehsan Arzaghi, Rouzbeh Abbassi, Vikam Garaniya, Faisal Khan (2016)	Bayesian Network (BN) untuk membantu mengembangkan metode RBM	Probabilitas kerusakan	menggunakan informasi kecelakaan untuk mengurangi risiko kegagalan dan meminimasi biaya pemeliharaan
Risk Based Maintenance (RBM) Modeling of Petrochemical Industry Using FAHP-DELPHI Techiques	Saede Nazari, Noreddin Gghanbari, Najmeh Karami, Masoom Nazari, dan Sajad Mousavi (2015)	Melakukan peningkatan dalam pemeliharaan yang berfokus pada pendekatan berbasis risiko	FAHP, Fuzzy Logic, dan AHP	meningkatkan kinerja sistem, meminimasi konsekuensi, meminimasi biaya perawatan, penurunan kerusakan, dan alokasi suku cadang